

BESTIMMUNG DES
PHOSPHOR-RESORPTIONS-KOEFFIZIENTEN
AUS EINER STANDARDRATION
NACH ZUSATZ VERSCHIEDENER
PHOSPHATE

Berlin 1964

Claus Conrad

Aus dem Institut für
Tierzucht und Tierernährung

der

Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. Kurt Bronsch

Bestimmung des Phosphor-Resorptions-Koeffizienten
aus einer Standardration nach Zusatz verschiedener
Phosphate

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin

an der

Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Claus Conrad
Tierarzt
aus Greifswald

Berlin 1964

Journal-Nr.: 479

Gedruckt mit Genehmigung
der Veterinärmedizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Dekan: Professor Dr. Joseph B o c h

Referent: Professor Dr. Kurt B r o n s c h

Korreferent: Professor Dr.Dr. Kraft D r e p p e r

Tag der Promotion: 17. Dezember 1964



MEINER MUTTER GEWIDMET

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. EINLEITUNG	1
II. LITERATUR	2
A. Entwicklung der Methodik zur Bestimmung des Resorptionskoeffizienten von Phosphaten	2
B. Neuere Ergebnisse über die Resorption von Phosphor bei Nutztieren	6
III. EIGENE VERSUCHE	13
A. Versuchstiere und Methodik	13
B. Aufarbeitung der Proben	18
C. Analytik	19
IV. ERGEBNISSE	21
V. DISKUSSION	28
VI. ZUSAMMENFASSUNG	34
VII. LITERATURVERZEICHNIS	36

I. Einleitung

Der Verbrauch an anorganischen Phosphaten für Futterzwecke hat sich innerhalb der letzten zehn Jahre nahezu verdoppelt. Im gleichen Maße wie der Phosphorkonsum ist auch das Angebot verschieden zusammengesetzter Phosphorpräparate ständig größer geworden. Es ist daher notwendig, Qualitätsbegriffe für Phosphate genau zu definieren und Standardmethoden zur Bewertung von Phosphaten auszuarbeiten mit dem Ziel, für alle Phosphorsupplemente über einen einheitlichen Maßstab hinsichtlich deren Verwertbarkeit durch das Tier zu verfügen.

Neben einer Reihe von Kriterien, die jedoch meist erst nach langfristigen Fütterungsversuchen zu einer Aussage berechtigen, ist der tatsächliche Phosphor-Resorptionskoeffizient eine bei allen Säugetieren rasch und mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmenden Maßzahl für die P - Ausnutzung beim Tier.

Herr Professor Dr. Kurt Bronsch hat mir die Aufgabe gestellt, mit Hilfe der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode den Phosphor-Resorptionskoeffizienten aus einer Ration für Schafe zu ermitteln, die Phosphate verschiedener Provenienz enthielt.

II. Literatur

Es besteht die Absicht an dieser Stelle lediglich einen kurzen Überblick über die methodischen Möglichkeiten zur Bestimmung der Phosphat-Resorption zu geben. Außerdem sollen nur die nach 1960 veröffentlichten und mit Hilfe der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode gewonnenen Ergebnisse eingehender diskutiert werden, denn eine ausführliche Besprechung älterer Arbeiten erfolgte bereits durch LÖRCHER (18) und SEUSS (28).

Die große Zahl von Publikationen über die Wirkung von Phosphaten auf den Stoffwechsel, insbesondere in Bezug auf Wachstum, Futteraufnahme und -ausnutzung, Gewichtszunahme, Knochenwachstum, P-Gehalt im Serum und Knochen, Aktivität der alkalischen Serumphosphatase und anderer zur Beurteilung der P-Ausnutzung sekundär herangezogenen Kriterien, bleiben hier ebenso unberücksichtigt wie die den P-Stoffwechsel beeinflussenden Faktoren.

A. Entwicklung der Methodik zur Bestimmung des Resorptionskoeffizienten von Phosphaten.

Die herkömmliche Methode zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Nährstoffen ist die Aufstellung einer Bilanz. Hierbei wird die prozentuale Verdaulichkeit des zu untersuchenden Stoffes nach folgender Beziehung berechnet:

$$\frac{\text{Stoff-Aufnahme} - \text{Stoff-Ausscheidung}}{\text{Stoff-Aufnahme}} \times 100 \quad (1)$$

Diese Methode ergibt jedoch für Mineralstoffe nicht die tatsächliche Resorptionsquote, sondern nur eine Größe,

die als "scheinbare Verdaulichkeit" bezeichnet wird.

Bei der Bestimmung der "wahren Verdaulichkeit" muß berücksichtigt werden, daß sich im Kot außer unresorbierbaren, exogenen Anteilen des Minerals insbesondere bei Wiederkäuern eine sehr große endogene Fraktion befindet, die aus dem Stoffwechsel-Pool über das Blut in den Darm sekretiert wird. Für den mit dem Kot ausgeschiedenen Phosphor ergibt sich somit:

Gesamt-Kot-P = exogener Kot-P + endogener Kot-P

Danach ist für die Ermittlung der wahren Verdaulichkeit folgende Formel gültig:

$$\frac{\text{P-Aufnahme} - (\text{Gesamt-Kot-P} - \text{endogener Kot-P})}{\text{P-Aufnahme}} \times 100 \quad (2)$$

Der tatsächlich resorbierte Nahrungsphosphor kann folglich nur durch die Trennung der exogenen von der endogenen P-Fraktion im Kot ermittelt werden.

Versuche, das Ausmaß der Resorption von Phosphaten mit Hilfe unresorbierbarer Indikatoren nach der Beziehung

$$\frac{\text{P/Indikator im Futter} - \text{P/Indikator im Kot}}{\text{P/Indikator im Futter}} \times 100 \quad (3)$$

zu erfassen, wie es BERGEIM (1) und FOURNIER (7) vorgeschlagen hatten, führten nicht zum Ziel, weil auch diese Methode keine quantitative Trennung exogener und endogener Phosphoranteile im Kot ermöglicht.

NICOLAYSEN (26) bestimmte 1937 den endogenen P-Anteil durch Ausschaltung der exogenen Fraktion: die Versuchstiere (Ratten) wurden gänzlich P-frei ernährt, so daß der gesamte im Kot gefundene P (0,75 - 1,35 mg pro Tier und Tag) endogener Herkunft sein mußte. Die unter diesen unphysiologischen Fütterungsbedingungen erzielten Ergebnisse dürfen allerdings nicht ohne Einschränkung verwendet werden. KJERULF-JENSEN (14) zeigte mit Hilfe der Isotopenverdünnungsmethode, daß der endogene P-Anteil bei normal ernährten Ratten tatsächlich beträchtlich größer ist. Er beträgt hier 11,6 - 14,6 mg pro Tier und Tag. Gegenüber der P-freien Diät ergibt dies eine Differenz von annähernd einer Zehnerpotenz.

Erst mit Hilfe eines von HEVESY und Mitarb. (12) im Jahre 1939 entwickelten Verfahrens, der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode, ist es möglich, den endogenen und exogenen Phosphoranteil im Kot quantitativ zu trennen. Ihr Prinzip beruht auf der Kennzeichnung des Stoffwechselphosphors mit dem radioaktiven Nuklid P^{32} . Der Anteil des endogenen Kot-P am gesamten Kotphosphor kann nun auf Grund folgender Überlegung bestimmt werden (nach KLEIBER, 15):

Es betrage

die tägliche P-Aufnahme mit dem Futter	a Gramm
die davon resorbierte Menge	r Gramm
die tägliche Gesamt-P-Ausscheidung über den Kot	k Gramm
davon der exogene, unverdauliche Anteil	u Gramm
und der endogene Anteil	e Gramm

Ferner sei die spezifische Aktivität (d.h. Einheiten P^{32} pro Gramm Gesamt-P) des Blutes φ
und des Kotes γ

Somit gelangen täglich $e \times \varphi$ Einheiten P^{32} über das Blut in den Kot. Es befinden sich dann im Kot $k \times \gamma$ Einheiten P^{32} . Da der Futterphosphor nicht radioaktiv ist, gilt die Gleichung:

$$e \times \varphi = k \times \gamma \text{ oder } e = k \frac{\gamma}{\varphi} \quad (4)$$

Diese Beziehungen besitzen allerdings erst dann Gültigkeit, wenn nach der Injektion von Radiophosphor die Verteilung auf alle P-Fractionen des Stoffwechsels vollständig ist. Dies zeigt sich u.a. daran, daß sich die spezifischen Aktivitäten des anorganischen Plasmaphosphors und des Kotphosphors auf ein Gleichgewicht eingestellt haben. Der Zeitpunkt, in dem dieses Gleichgewicht (d.h. paralleler Abfall der spezifischen Aktivitäten von Plasma- und Kot-P) erreicht ist, wird "steady state" genannt und tritt beim Schaf frühestens sieben Tage nach der subcutanen Injektion von Radiophosphat ein.

Nach dieser Methode ist vor allem von KLEIBER und Mitarb. (16) sowie von zahlreichen anderen Autoren die Resorbierbarkeit des Phosphors in den Rationen von Milchkühen, Kälbern, Schafen und Schweinen ermittelt worden (3, 19, 20, 23).

Eine methodische Variante haben LUEKER und LOFGREEN (22) vorgeschlagen, indem bei Schafen als Bezugssystem anstelle der spezifischen Aktivität des Serums diejenige des Speichels herangezogen wird. Die Autoren fanden jedoch im Speichel höhere Schwankungen (13, 4) als im Blut (9, 1).

GÜTTE und Mitarb. (10) sowie LENKEIT und Mitarb. (17) haben den Vorschlag von HEVESY (12) wieder aufgegriffen und bei Schweinen die Messung der spezifischen Aktivität des Harnes anstelle der des Serums vorgezogen, die dann mit der spezifischen Aktivität des Kotes in Beziehung gesetzt wird.

Außer mit der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode kann der endogene Kot-P auch über die "Komparative Bilanz" erfaßt werden, ein Verfahren, das von HANSARD (13) 1951 zur Ermittlung des endogenen Kotcalciums aufgestellt wurde. Die Berechnung der endogenen Fraktion erfolgt dabei nach der Formel:

$$E = \frac{100 - \text{Kot-P}^{32}}{1 - R} - (100 - \text{Gesamt-Kot-P}) \quad (5)$$

Hierbei ist E der endogene Kot-P in Prozent des Gesamt-Kot-P und R die Resekretionsfraktion des oral eingegebenen Radiophosphors. Die Ermittlung von R erfolgt an einem anderen Versuchstier nach intravenöser Injektion von Radiophosphor.

B. Neuere Ergebnisse über die Resorption von Phosphor bei Nutztieren

Die Ergebnisse der Arbeiten von LOFGREEN (21), ELLIS und TILLMAN (4) sowie von GUEGUEN (8) sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

SEUSS (28) bestimmte den P-Resorptionskoeffizienten aus Rationen, die mit Knochenfuttermehl, Dicalciumphosphat, Thomasmehl und drei verschiedenen zusammengesetzten Mineralfuttern supplementiert worden sind. Das erste dieser Mineralfutter (A) wies einen hohen Gehalt an Knochenfuttermehl auf, das zweite (B) besaß einen synthetischen Phosphorträger und der Phosphor des dritten (C) stammte von einem mit synthetischer Phosphorsäure behandelten Aluminiumphosphat. Auch die Ergebnisse dieser Arbeit sind in Tabelle 1 erfaßt worden.

Tabelle 1: Übersicht über bisherige Ergebnisse der Phosphorresorption

Autor	LOFGREEN (21)				ELLIS und TILLMAN (4)		GUEGUEN (8)
Versuchstierart	5 erwachsene Hammel				4 Hammel	5-6 Monate	4 Schafböcke 3-4 Jahre
Supplement	Dicalciumphosphat	Knochenmehl	Soft-Phosphate	Calciumphytat	Weizenkleie		
tgl. P-Zufuhr pro Tier	g	8,42	8,07	8,44	8,2	3,8	
davon supplementiert	g	3,43	3,76	3,91	7,46	3,8	
tgl. Gesamt-Kot-P/Tier	g	6,84	7,47	7,58	6,99	4,33	
davon endogen	g	3,83	3,96	3,56	0,88	2,6	
"wahre Verdaulichkeit" des Futter-P	%	50	46	33	25,5	55	

Autor	SEUSS (28)				2 Jungrinder 7-8 Monate	
Versuchstierart	4 Hammel	2 Hammel	3 Hammel	4 Hammel		
Supplement	Mineralstoffmischung				Dicalciumphosphat	Thomas-mehl
tgl. P-Zufuhr pro Tier	g	3,04	3,03-3,4	2,36-3,04	9,3	9,3
davon supplementiert	g	2,0	2,0	2,0	6,0	6,0
tgl. Gesamt-Kot-P/Tier	g	2,25	2,87	2,89	5,25	4,31
davon endogen	g	1,69	2,34	1,87	3,24	2,77
"wahre Verdaulichkeit" des Futter-P	%	82	79,3	62,3	78,3	84,7

LÖRCHER (18) berichtete über P-Resorptionsbestimmungen an Jungrindern und Schafen. Zwei 6 Monate alte Jung-
rinder erhielten mit einer Ration je 9,0 g P pro Tag,
wobei zwei Drittel des Phosphors über Thomasmehl gedeckt
wurden. Bei einer durchschnittlichen Gesamt-P-Ausschei-
dung im Kot von täglich 4,29 g, wovon 66,8 % endogener
Herkunft waren, ergab sich eine wahre Phosphorresorption
aus der Gesamtration von 84 %. Bei einem unter gleichen
Bedingungen angestellten Versuch an zwei weiteren Jung-
rindern mit Dicalciumphosphat wurden die Phosphorbe-
standteile zu 71 % resorbiert. Die durchschnittliche Ge-
samt-P-Ausscheidung betrug hier 5,15 g pro Tag, davon wa-
ren 48,1 % endogener Herkunft. Ein gleicher Versuch an
zwei Schafen ergab allerdings bei einer täglichen P-Zufuhr
von je 6,0 g und einer durchschnittlichen P-Ausscheidung
von 5,97 g (davon 48,2 % endogen) eine P-Resorption von
48,5 %. An zwei zweijährige Hammel wurden täglich 2,65 g
Phosphor über die aus Heu bestehende Ration verfüttert.
Durchschnittlich wurden von den Tieren 2,83 g Phosphor pro
Tag ausgeschieden, wovon 1,87 g endogener Herkunft waren.
Die wahre Verdaulichkeit betrug 64 %.

LUEKER und LOFGREEN (22) untersuchten den Einfluß ver-
schiedener Ca : P - Verhältnisse auf die Absorption die-
ser Elemente bei Hammellämmern. Die Autoren prüften
Ca : P - Verhältnisse von 0,8 : 1 (je Tier tgl. 6,79 g P),
2,8 : 1 (je Tier tgl. 3,82 g P) und 6,0 : 1 (je Tier tgl.
3,21 g P). Dabei zeigte sich, daß die endogene Ausscheidung
von Calcium im Kot meistens konstant bleibt und eine Steige-
rung der Ca-Resorption mit einem Anwachsen der Retention ein-
hergeht. Beim Phosphor dagegen soll sich ein Anwachsen der
Resorption in einer größeren endogenen Kot-Exkretion ohne
Steigerung der Retention bemerkbar machen. Ferner war die
Ausscheidung des endogenen Calciums mit dem Kot unabhängig
von der absorbierten P-Menge, während ein Anwachsen der Ca-
Resorption eine Verringerung der endogenen P-Exkretion im

Kot bewirken soll. Demnach scheint sich eine Steigerung der Ca-Resorption hemmend und ein Anwachsen der P-Resorption fördernd auf die endogene Kot-P-Ausscheidung auszuwirken.

BRÜGGEMANN und Mitarb. (2) stellten an 25 Mastschweinen Bilanzversuche unterstützt durch die dynamische Isotopenverdünnungsmethode zur Ermittlung des Resorptionskoeffizienten des alimentären und der Exkretionsrate des endogenen Phosphors an. Es wurden mehrere Rationen, die teilweise mit Dicalciumphosphat supplementiert waren, an die Tiere verfüttert. Im Gewichtsabschnitt von 47 - 87 kg lag die tägliche P-Zufuhr zwischen 3,4 und 3,6 g pro Tier. Der Ansatz zwischen 4,6 und 5,2 g P pro kg Gewichtszuwachs wurde als optimal angesehen. Der Resorptionskoeffizient betrug 70 %, die Exkretionsrate 25 % der täglich resorbierten P-Menge. Als ausreichende P-Versorgung für Mastschweine erwiesen sich 2,5 g Phosphor pro 100 g verdauliches Rohprotein unter der Voraussetzung, daß die angebotenen P-Verbindungen eine gute Resorbierfähigkeit besitzen. Bei rein vegetabiler Kost wurde diese bereits durch Zusatz von 1 % Dicalciumphosphat erreicht. Über den Bedarf hinaus zugeführter Phosphor bewirkte eine Herabsetzung des Resorptionskoeffizienten. Ein P-Mangel wird mit einer Beschränkung der Exkretionsrate beantwortet, die aber offensichtlich nicht mehr als bis auf 7,1 % der täglichen Aufnahme absinken kann. Zur Ermittlung der Verdaulichkeit von Phytinphosphor sind 4 Versuche durchgeführt worden, bei denen allerdings, um ein P-armes Grundfutter zu erzielen, keine optimalen Ernährungsbedingungen erreicht wurden. Die täglichen P-Einnahmen pro Tier betrugen jeweils 1,2 g (43 % Phytinphosphor) und 3,7 g (82 % Phytinphosphor). Aus allen Messungen ergab sich im Durchschnitt eine rund 25 %ige Verwertung des Phytinphosphors.

GUEGUEN (9) fütterte zur Prüfung der P-Verdaulichkeit zwei Rationen an sechs 6 - 8 Wochen alte Kälber. Die Diät A bestand aus reiner Vollmilch, mit der drei Tiere täglich je 7,5 g Phosphor erhielten. Die Diät B setzte sich aus einem Trockenkonzentrat und Heu zusammen. Über diese Diät erhielten die drei Tiere der zweiten Gruppe täglich je 9,9 g P. Bei zwei Kälbern jeder Gruppe wurde nach der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode vorgegangen und an einem Kalb jeder Gruppe die Kot- und Harnausscheidung einer oral eingegebenen P^{32} -Dosis beobachtet. Der endogene P-Anteil am Gesamt-Kot-P betrug 51 % bei den Kälbern mit der Diät A und 45 % mit der Diät B, absolut ausgedrückt bei Diät A 0,15 g und bei der Diät B 1,9 g. Die wahre P-Verdaulichkeit betrug in der Milch 98,5 % und 79,6 % in der Diät B. Die Ausscheidungsrate betrug bei den mit Diät A gefütterten Tieren innerhalb der ersten 8 Tage insgesamt 14 % der oral eingegebenen P^{32} -Dosis, während die Tiere mit der Diät B im gleichen Zeitraum über Kot und Harn 60 % der verabreichten P^{32} -Dosis exkretierten.

PRESTON und PFANDER (27) teilten 24 männliche Texas-Schaf-lämmer in drei Gruppen ein, deren Durchschnittsgewichte 27,3 bzw. 26,7 bzw. 26,6 kg betrugen. Die Tiere bekamen ein Futter, das für jede Gruppe einen anderen P-Gehalt aufwies und das ad libidum gereicht wurde. Die Tiere der ersten Gruppe nahmen während der Versuchsperiode im Durchschnitt täglich 516 g Diät mit einer P-Konzentration von 0,12 % = 0,62 g P auf, die Tiere der zweiten Gruppe 566 g mit einem P-Gehalt von 0,15 % = 0,837 g P und die Tiere der dritten Gruppe 828 g (0,29 % P) = 2,42 g P. Die scheinbare P-Verdaulichkeit betrug in der ersten Gruppe 36,0 %, in der zweiten 38,2 % und in der dritten 31,7 %. Die wahre Verdaulichkeit des Phosphors ist für die drei Gruppen mit 81,2 % bzw. 83,4 % bzw. 86,5 % angegeben worden. Für Dical-

ciumphosphat, das dem Futter der zweiten (zu 0,17 %) und dritten Gruppe (zu 0,94 %) zur Aufbesserung des P-Gehaltes hinzugegeben wurde, berechneten die Autoren einen P-Resorptionskoeffizienten von 92,9 bzw. 90,1 %.

Aus dem Voranstehenden ergibt sich, daß die Bestimmungen des Resorptionskoeffizienten von Phosphor aus verschiedenen Rationen bei verschiedenen Tierarten bereits durchgeführt worden sind. Sofern hierbei der jeweilige P-Bedarf eingehalten worden ist, wurden vergleichbare Ergebnisse erzielt. Wenn jedoch Fütterungsphosphate auf ihren Phosphorresorptionskoeffizienten geprüft werden sollen, ist es zur Vermeidung größerer Schwankungen der Versuchsergebnisse sinnvoll derartige Messungen bei einer Tierart und bei einer repräsentativen Ration durchzuführen. Aus diesem Grunde wird für etwa einjährige Hammel eine Standardration zusammenzustellen sein, die für das Tier optimale Ernährungsbedingungen schafft und dabei möglichst P-arm ist. Auf diese Weise ist es möglich, die auf ihre Phosphorresorption zu prüfende Mineralstoffmischung in einem hohen Prozentsatz beizugeben, ohne dabei den täglichen Bedarf an Phosphor zu überschreiten. Zur Bestimmung des Resorptionskoeffizienten für Phosphor soll dabei die Bilanz einschließlich der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode angewendet werden.

III. Eigene Versuche

A. Versuchstiere und Methodik:

Die Ermittlung des Resorptionskoeffizienten für Phosphor aus verschiedenen Mineralfuttern erfolgte nach der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode, deren Prinzip ausführlich im Abschnitt Literatur erläutert wurde.

Als repräsentatives Versuchstier für den Wiederkäuer wurde das Schaf gewählt; für die Versuche standen 4 Jährlings-Hammel aus einer württembergischen Landschafts-herde zur Verfügung, deren Körpergewicht während des gesamten Versuchsablaufes gleichbleibend 47 - 53 kg betrug.

Im Hinblick auf die Versuchsgestaltung wurde nach den im Methodenbuch des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (29) festgelegten Richtlinien verfahren. Darüberhinaus waren bei der Zusammenstellung der Versuchsration folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- 1.) die Grunddiät sollte möglichst P-arm sein, um einen möglichst hohen Prozentsatz des zu testenden anorganischen Phosphates in die Ration einbringen zu können.
- 2.) die tägliche Gesamt-P-Zufuhr sollte den Bedarf der Tiere decken, aber nicht überschreiten.
- 3.) alle übrigen Nähr- und Baustoffe sollten optimal vorhanden sein.
- 4.) der Rohfasergehalt sollte nicht unter 20 % betragen.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte und eines Erhaltungsbedarfs von etwa 1000 g Trockensubstanz, 55 g verdaulichem Eiweiß und 400 Stäركeeinheiten (13, 25, 29) wurde dann die in Tabelle 2 angeführte Versuchsratiön zusammengestellt:

Tabelle 2: Zusammensetzung der Versuchsratiön

auf die Tagesratiön von 1 kg ber.

	% verd.Prot. (g)		St.E.	P. (g)	Rohfaser (g)
Haferaschen	40,0	7,0	60,4	0,57	116,0
Taplokamehl	20,0	3,7	163,6	0,18	3,6
Luzernegrünmehl	15,0	13,9	69,0	0,27	33,3
Cellulose	9,0	-	50,0	-	58,4
Johannisbrotschrot	6,0	0,2	30,0	0,05	4,7
Drackett-Protein	5,0	36,0	-	0,40	-
Mineralstoffmischung	4,4	-	13,4	2,03	16,7
Vitaminvormischung	0,3	-	-	-	-
Spurenelementvormischung	0,3	-	-	-	-
	100,0	60,8	386,4	3,50	232,7
	=====	=====	=====	=====	=====

In Versuch VI wurde wegen Verwendung eines N-haltigen Phosphates (Diammoniumphosphat) das Drackett-Protein von 5,0 auf 4,4 % in der Ratiön reduziert, und diese Menge über die Cellulose ausgeglichen.

Analytisch wurden folgende wertbestimmende Bestandteile ermittelt:

Trockensubstanz	90,6 %
Asche	4,1 %
Rohprotein	10,2 %
verdauliches Protein	5,8 %
Rohfett	1,5 %
Rohfaser	23,1 %

So wurde eine gute Übereinstimmung der ermittelten Werte mit dem geforderten Erhaltungsbedarf für Schafe erreicht. Diese Ration wurde für alle Versuche verwandt; es änderte sich jeweils nur die Zusammensetzung der Mineralstoffmischung. Von der gesamten P-Zufuhr in Höhe von 3,5 g P pro Tier und Tag wurden über die Mineralstoffmischung jeweils 55 - 60 % in Form von anorganischen Phosphaten gedeckt. Sowohl die Vitamin- als auch die Spurenelementvormischung hatten bei allen Versuchen die gleiche Zusammensetzung und zwar:

Vitaminvormischung (im Kilogramm Diät):

Vitamin A	4405,05	I.E.
Vitamin D	880,04	I.E.
Vitamin E	33,00	mg
Inositol	110,00	mg

Spurenelementvormischung (Konzentration der einzelnen Elemente im Kilogramm Diät):

Cu	10,3	mg
Fe	177,2	mg
Na	15,0	mg
Mn	21,0	mg
Zn	31,3	mg
K	4,6	mg
J	15,0	mg
Co	90	mcg
Mo	340	mcg

Die Zusammensetzung der Mineralstoffmischung für den jeweiligen Versuch richtete sich nach den Gehalten an P, Ca, Na und K der jeweils zu untersuchenden Substanz.

Bei einer täglichen Gesamt-P-Zufuhr von 3,5 g je Tier ist nach analytischer Überprüfung der Grundration in der fertigen Diät das Ca : P-Verhältnis auf 2 : 1 und das Na : K-Verhältnis auf 1 : 5 eingestellt worden.

Zusammensetzung der Mineralstoffmischung der einzelnen Versuche und Analyse des jeweils zu testenden Mineralfutters:

Versuch	I :	Natrium - Magnesium - Orthophosphat	182 g
		CaCO_3	193 g
		Cellulose	625 g
			1000 g
Versuch	II :	Calcium - Magnesium - Phosphat	267 g
		CaCO_3	120 g
		NaCl	46 g
		Cellulose	567 g
			1000 g
Versuch	III :	Natrium - Magnesium - Calcium - Phosphat (Provenienz I)	259 g
		CaCO_3	136 g
		K_2CO_3	605 g
			1000 g
Versuch	IV :	Rohphosphat	323 g
		NaCl	95 g
		Cellulose	582 g
			1000 g
		Rohphosphat:	
			14,8 % P
			38,5 % Ca
			0,55 % Na

Versuch V :	Natrium - Magnesium - Calcium - Phosphat (Provenienz II)	286 g
	CaCO ₃	154 g
	K ₂ CO ₃	89 g
	Cellulose	471 g
		1000 g

Versuch VI :	Diammoniumphosphat	400 g
	NaCl	130 g
	Cellulose	470 g
		1000 g

Diammoniumphosphat : 60,4 % P
14,0 % N

Zur Gewöhnung an die Ration wurden die Tiere 28 Tage mit der Diät des Versuchs I vorgefüttert. Für jeden weiteren Versuch, der dem jeweils vorangegangenen unmittelbar folgte, reichte eine Vorfütterungszeit von 14 Tagen aus, da die Grunddiät sich nicht änderte und die Tiere sich nur auf den neuen Phosphorträger einzustellen brauchten. Vom ersten Tage der Vorfütterung an wurden die Tiere in Stoffwechselkäfigen gehalten, die ein vollständiges, getrenntes Sammeln von Kot und Harn ermöglichten.

Sieben Tage vor Beginn der Sammel- oder Meßperiode erhielten die Tiere jeweils eine subcutane Injektion von Radiophosphat (P^{32}) zur Markierung des Stoffwechselphosphors. Die Dosis je Tier betrug dabei jeweils 5 mC P^{32} -Orthophosphat in isotonischer Lösung.

Da (u.a. nach SEUSS, 28) die spezifische Aktivität des Blutserums zur Zeit t mit der des Kotes zur Zeit $t + 24$ Stunden verglichen werden muß, wurden während der achttägigen Sammel- oder Meßperiode am ersten Tag nur die Blutproben, an den darauffolgenden sechs Tagen Blut- und Kotproben und am letzten Tag nur die Kotproben genommen.

Die statistische Absicherung der Ergebnisse erfolgte nach dem in der Arbeit von MÜLLER-SETTELE (24) beschriebenen Wilcoxon-Test.

Sämtliche angeführten Standardabweichungen wurden nach der Formel

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta}{n - 1}}$$

errechnet, wobei n die Anzahl der Einzelwerte und Δ die Summe der Fehlerquadrate ist.

B. Aufarbeitung der Proben:

a) Blut:

Zur Blutentnahme wurden vier 20 ccm-Plastikspritzen mit einer Heparinlösung durchgespült, die 1200 I.E. Heparin/ml enthielt. Das aus der Vena jugularis entnommene Blut ist anschließend 10 - 15 Minuten lang bei einer Tourenzahl von 3000 U/min zentrifugiert worden. Vom überstehenden Serum pipettierten wir jeweils 10 ml ab, fügten die gleiche Menge einer 20 %igen Trichloressigsäurelösung hinzu und zentrifugierten abermals 10 - 15 Minuten bei 3000 U/min. Im überstehenden Trichloressigsäurefiltrat (TCF) erfolgte die P^{32} -Aktivitätsbestimmung mit einem Strahlenmessgerät (FH 49 bzw. Tri-Carb Liquid Scintillation Spectrometer der Firma Packard). Zur chemischen Phosphorbestimmung wurden jeweils 1 - 2 ml TCF verwendet.

b) Kot:

Das Auffangen des Kotes erfolgte mit Hilfe von Schnallgeschirren am Tier in Kotbeuteln, denen zusätzlich noch ein Plastikbeutel eingelegt war. Die 24-Stunden-Menge

wurde naß homogenisiert, gewogen und 300 g des Homogenats im Umlauftrockner bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Vom ausgewogenen und anschließend gemahlenden Trockenkot ist ein aliquoter Teil in einen 100 ml - Kjeldahl-Kolben quantitativ überführt worden. Nach Hinzugabe von 10 ml eines Oxydationsgemisches (bestehend aus 150 ml konz. H_2SO_4 , 150 ml Aqua dest. und 200 ml Perchlorsäure) wurde das Gemisch bis zur völligen Farblosigkeit verascht und nach dem Abkühlen auf 100 ml aufgefüllt.

C. Analytik

a) chemische Phosphorbestimmung:

Die Bestimmung des Phosphorgehaltes aus dem Trichlor-essigsäurefiltrat des Blutserums und dem Säureaufschluß des Kotes erfolgte colorimetrisch nach der Methode von FISKE und SUBBAROW (6).

b) Messung der Radioaktivität:

Zur Bestimmung der P^{32} -Aktivität verwendeten wir für die Versuche I - III und VI Zählgeräte des Typs FH 49 mit Flüssigkeitszählrohren (FHZ 44/995 und FHZ 44/219) der Firma Friesseke und Hoepfner. Für jeweils 10 ml der aufbereiteten Proben wurde die Zeit für 4000 Impulse gemessen und mit einer P^{32} -Lösung bekannter Aktivität verglichen.

Die P^{32} -Aktivitätsbestimmung bei den Versuchen IV - V erfolgte im Tri-Carb Liquid Scintillation Spectrometer (Packard, Modell 3002) bei einer Verstärkung von 1,25 % und einem Fenster von 20 - 1000 bzw. 200 - 1000 Teilstriichen. Hierbei wurde jeweils 1 ml der aufbereiteten Proben in 20 ml einer Szintillator-Flüssigkeit eingebracht und über eine Zeit von 2 - 5 Minuten gemessen. Als Szintillator diente eine Lösung aus

5,000 g PPO (2,5 - Diphenyloxazol)

0,125 g POPOP (1,4 - Di - [2 - (5- phenyloxazolyl)] -
benzol)

100,000 g Naphthalin

in 1000,000 ml Dioxan.

Die in der angegebenen Menge dem Szintillator beige-
gebene Probe bildete mit der Szintillatorlösung ein
homogen gemischtes Flüssigkeitssystem. Der Wirkungs-
grad dieser Meßanordnung lag dabei um 60 %.

Sämtliche Proben sind auf entsprechend präparierte
Standardlösungen bekannter P^{32} -Aktivität bezogen wor-
den.

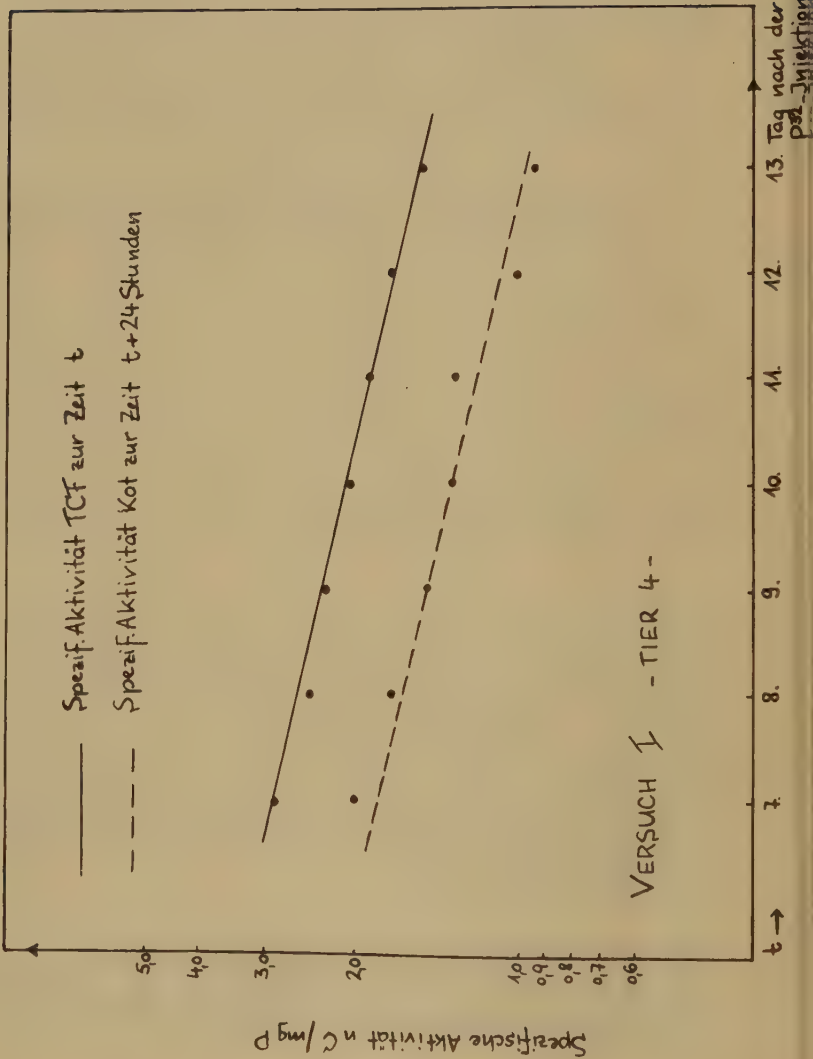
IV. E r g e b n i s s e

Die zur Berechnung des endogenen Kot-P herangezogenen korrigierten spezifischen P^{32} -Aktivitäten im TCF des Serums bzw. in den verdünnten Säureaufschlüssen des Kotes sind in Abb. 1 für Tier 4, Versuch I als Beispiel aufgezeichnet. Aus dem Verlauf beider Aktivitäten ist ersichtlich, daß der Abfall exponentiell und parallel verläuft und somit im einfach logarithmischen System als lineare Funktion darzustellen ist. Weiterhin geht aus dieser Abbildung hervor, daß bei der in diesem Versuch konstanten täglichen Zufuhr von 3,8 g Phosphor derselben Zusammensetzung der prozentuale Anteil des endogenen Kot-P am Gesamt-Kot-P nahezu gleich groß ist. Der endogene Kot-P in Prozent des Gesamt-Kot-P, der sich rechnerisch aus dem Quotienten der spezifischen Aktivitäten im Kot und TCF ergibt, repräsentiert sich in der Abbildung als Abstand der beiden Parallelen, da sich im einfach logarithmischen System die Division zur Subtraktion reduziert. Die Parallelität der spezifischen Aktivitäten kann auch als Beweis für das inzwischen erreichte "steady state" gelten.

Die an vier Schafhammeln in aufeinanderfolgenden Perioden mit Hilfe der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode ermittelten Phosphorresorptionskoeffizienten einer jeweils mit verschiedenen Phosphaten supplementierten Ration sind in Tabelle 3 zusammen mit weiteren Daten dieser Resorptionsversuche aufgeführt. Die hier angegebenen Werte sind Durchschnittswerte von vier Tieren, bei denen jeweils an sieben aufeinanderfolgenden Tagen Einzelmessungen durchgeführt wurden.

Abgesehen von der Versuchsration I sind während aller übrigen Perioden nur 3,5 g Phosphor pro Tier und Tag verfüttert worden, wovon jeweils zwischen 55 und 60 % aus

Abb. 1: Abfall der spezifischen Aktivität im Kot und TCF eines Schafes während der Sammelperiode (Einfach-Logar. Darstellung)



dem Phosphat der zu prüfenden Mineralverbindungen stammte. Wie aus der Tabelle hervorgeht, ist die Verwertbarkeit des Phosphors je nach Art der verwendeten P-Supplemente verschieden, und zwar beträgt der P-Resorptionskoeffizient des Nahrungsphosphors unter Verwendung von 60 % Diammoniumphosphat als P-Supplement 85,7 %. Die Verwertbarkeit des Phosphors aus dieser Ration kommt somit derjenigen von Dicalciumphosphat am nächsten, die unter denselben Versuchsbedingungen mit 86 % ermittelt wurde. Bei Verwendung von Ca-Mg-Phosphat, Na-Mg-Orthophosphat bzw. Rohphosphat als anorganische Bestandteile der Ration ergaben sich Resorptionskoeffizienten des Nahrungsphosphors von 71,0 bzw. 70,0 und 66,6 %. Bei Prüfung zweier Na-Mg-Ca-Phosphate unterschiedlicher Provenienz und Zusammensetzung wurde der Nahrungsphosphor zu einem Prozentsatz von 80,6 bzw. 70,0 resorbiert.

Die statistische Auswertung der beobachteten Unterschiede zwischen den einzelnen P-Resorptionskoeffizienten ergab folgendes Bild:

Die in den Versuchen I, II, III und IV ermittelten Phosphorresorptionskoeffizienten sind jeweils mit $P = 0,014$ signifikant niedriger im Vergleich zu denjenigen in Versuch V und VI. Die P-Verdaulichkeit in Versuch IV unterscheidet sich darüberhinaus noch mit $P = 0,029$ als signifikant gegenüber derjenigen in Versuch II. Alle übrigen Differenzen erwiesen sich mit $P > 0,05$ als nicht gesichert.

Die entsprechenden Werte der scheinbaren Verdaulichkeit des Futter-P sind ebenfalls in Tabelle 3 aufgenommen worden. Ihre Höhe bewegt sich dabei zwischen 5 und 18 %, d.h. daß unter Vernachlässigung der geringen

Tabelle 3: Übersicht der Ergebnisse aus den Resorptionsversuchen

Supplement	Vers. I Na-Mg-Ortho- Phosphat	Vers. II Ca-Mg- Phosphat	Vers. III Na-Mg-Ca- Phosphat (Provenienz 1)	Vers. IV Rob- Phosphat	Vers. V Na-Mg-Ca- Phosphat (Provenienz 2)	Vers. VI Diammonium- Phosphat
tägl. Gesamt-P- Aufnahme	g 3,8	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
davon supplementiert	g 2,03	2,17	1,94	2,10	2,14	2,08
tägl. Gesamt-P- Ausscheidung im Kot	g 3,57 +0,25	3,10 +0,03	2,90 +0,33	3,18 +0,18	3,33 +0,34	2,88 +0,46
endog. Kot-P in Pro- zent der Gesamt-P- Ausscheidung	g 68,1	67,1	63,8	63,2	79,6	82,6
endog. Kot-P	g 2,43 +0,24	2,08 +0,14	1,85 +0,20	2,01 +0,20	2,65 +0,36	2,38 +0,35
Exog. Kot-P	g 1,14	1,02	1,05	1,17	0,68	0,50
tatsächl. resorb. P-Menge	g 2,66	2,48	2,45	2,33	2,82	3,00
tatsächl. Resorp- tionskoeffizient d. Futter-P	g 70,0 +3,01	71,0 +3,78	70,0 +3,55	66,6 +0,06	80,6 +1,88	85,7 +2,29
scheinbar resor- bierte P-Menge	g 0,23	0,40	0,60	0,32	0,17	0,62

Die hier unter k und e aufgeführten Angaben sind Durchschnittswerte von vier Tieren, die angegebenen Standardabweichungen beziehen sich auf die Differenzen der Einzeltiere vom Gruppendurchschnitt.

P-Ausscheidung im Harn müßten beim Wiederkäuer nur zwischen 0,2 und 0,6 g P pro Tier und Tag retiniert worden sein.

Als Beispiel für den Berechnungsgang seien willkürlich die Werte des ersten bzw. zweiten Versuchstages (7. bzw. 8. Tag post injectionem) des Schafes Nr. 4 im Versuch I (siehe Tabelle 4) angeführt: Am 7. Tag nach der Injektion der Indikator-dosis wurden im TCF 0,451 mg Phosphor pro ml gefunden. Die Messung der Aktivität des Radiophosphors ergab einen Wert von 1,3 nC pro ml TCF (als Bezugssystem wurde eine Standardprobe mitgemessen). Die spezifische Aktivität, die durch das Verhältnis

$$\frac{P^{32} \text{ in nC}}{\text{mg Gesamt-P}}$$

definiert ist, betrug im vorliegenden Fall also 2,88 nC P^{32} /mg Gesamt-P im TCF. - Am zweiten Versuchstag, d.h. am 8. Tage post injectionem, wurde im Kot-aufschluß eine spezifische Aktivität von 2,03 nC P^{32} /mg Gesamt-P festgestellt. Das Verhältnis

$$\frac{\text{spezif. Aktivität Kot-P zur Zeit } t + 1}{\text{spezif. Aktivität TCF-P zur Zeit } t} \times 100$$

betrug am 7./8. Tage nach der P^{32} -Injektion

$$\frac{2,03}{2,88} \times 100 = 70,5$$

Das bedeutet, daß 70,5 % der am zweiten Versuchstag über den Kot ausgeschiedenen P-Menge endogener Herkunft waren. Im Kotaufschluß dieses Tages wurden 0,456 mg P pro ml Aufschluß gefunden. Dies ergibt,

bezogen auf die Gesamt-Kot-Menge eine P-Ausscheidung von 3,41 g. Der endogene P-Anteil im Kot betrug also an diesem Tage 70,5 % = 2,40 g, so daß sich die exogene P-Menge auf 3,41 - 2,40 = 1,01 g belief. Der Resorptionskoeffizient ergibt sich nun aus der Beziehung

$$\frac{a - (k - e)}{a} \times 100$$

wobei a die tägliche P-Aufnahme,
k die tägliche Gesamt-P-Ausscheidung im Kot
und e die endogene P-Menge im Kot ist.
k - e ist die exogene P-Menge im Kot.

Im angeführten Beispiel also

$$\frac{3,8 - (3,41 - 2,40)}{3,8} \times 100 = 73,4$$

Das bedeutet, daß die wahre Verdaulichkeit des Futter-P an diesem Tage 73,4 % betrug. Die scheinbare Verdaulichkeit, die sich aus der Beziehung

$$\frac{\text{P-Aufnahme} - \text{P-Ausscheidung}}{\text{P-Aufnahme}} \times 100$$

ergibt, belief sich auf

$$\frac{3,8 - 3,41}{3,8} \times 100 = 10,3 \%$$

Im Durchschnitt schied das Schaf Nr. 4 im Versuch I 3,73 ± 0,38 g P/Tag aus, wovon 2,41 ± 0,29 g P endogener Herkunft waren. Die wahre Verdaulichkeit betrug durchschnittlich 65,4 ± 6,08 %.

Tabelle 4: Beispiel für die Protokollführung

tägliche P-Aufnahme: 3,8 g

Versuch I	Tier 4				Blut		Bilanz						täglliche P-Aufnahme: 3,8 g		
Datum d. Proben-ent-nahme	g Trockensubstanz	mg P/ml Aufschluss	g P-Ausscheidung	ng/ml Aufschluss	spez. Aktivität	mg P/ml TGF	ng/ml TGF	spez. Aktivität	endog. Kot-P in %	endog. Kot-P in g	exog. Kot-P in g	tatsächl. Verd. P-Menge in g	"wahre Verdäkt." d. Futter-P in %	scheinbar verd. P-Menge in g	scheinb. Valkt. d. Futter-P in %
4.5.64	-	-	-	-	-	0,451	1,3	2,88	-	-	-	-	-	-	-
5.5.64	373,53	0,456	3,41	0,926	2,03	0,433	1,085	2,51	70,5	2,40	1,01	2,79	73,4	0,39	10,3
6.5.64	429,54	0,482	4,14	0,836	1,74	0,415	0,971	2,34	69,3	2,87	1,27	2,53	66,6	0,34	-
7.5.64	409,94	0,456	3,74	0,690	1,51	0,405	0,851	2,10	64,5	2,41	1,33	2,47	65,0	0,06	1,6
8.5.64	393,11	0,526	4,14	0,705	1,34	0,441	0,860	1,95	63,8	2,64	1,50	2,30	60,5	0,34	-
9.5.64	366,44	0,445	3,26	0,593	1,33	0,460	0,831	1,81	68,2	2,22	1,04	2,76	72,6	0,54	14,2
10.5.64	345,08	0,487	3,36	0,509	1,05	0,421	0,696	1,65	58,0	1,95	1,41	2,39	62,9	0,44	11,6
11.5.64	449,61	0,448	4,03	0,436	0,98	-	-	-	59,4	2,39	1,64	2,16	56,8	0,23	-

V. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit war der Phosphorresorptionskoeffizient verschieden supplementierter Rationen zu bestimmen. Dabei hat sich erneut gezeigt, daß die "scheinbare P-Verdaulichkeit", also die Differenz zwischen der eingenommenen und der mit dem Kot ausgeschiedenen P-Menge, keine Auskunft über das Ausmaß des tatsächlich aus der Nahrung resorbierten Phosphors geben kann. Zur Durchführung von Phosphorresorptionsversuchen ist es daher notwendig, die im Kot chemisch nur als Summe zu erfassenden endogenen und exogenen Phosphor-Anteile auf dem Wege der radioaktiven Etikettierung zu trennen. Von den zwei hierzu zur Verfügung stehenden methodischen Möglichkeiten wurde das Verfahren der dynamischen Isotopenverdünnung gewählt, das gegenüber der "Komparativen Bilanz" folgende Vorteile aufzuweisen hat:

Die Kennzeichnung des endogenen Phosphors kann unabhängig von den zur Verfütterung kommenden P-Verbindungen, beispielsweise über eine isotonische radioaktive Na-Orthophosphatlösung, erfolgen. Demgegenüber bereitet bei der "Komparativen Bilanz" die Signierung des Nahrungsphosphors oft unüberwindliche Schwierigkeiten; so müßte zum Beispiel eine Markierung pflanzlicher Phosphorkomponenten auf dem Wege der biologischen Synthese vorgenommen werden. Ferner müßte bei komplexgebundenen Phosphaten, deren Struktur oft nicht bekannt ist, die Etikettierung entweder im halbtechnischen Maßstabe während der Herstellung oder aber im Reaktor erfolgen. Wenngleich die angeführten Markierungsverfahren in beschränktem Umfange technisch möglich sind, wird man sie auf Grund ihrer Kostspieligkeit und Umständlichkeit zu umgehen versuchen. Weiterhin steht der Anwendung der "Komparativen Bilanz" die Tatsache entgegen, daß mit ihr

lediglich kurzfristige Untersuchungen nach Verfütterung nur einer einzigen Probemahlzeit anzustellen sind. Hinzu kommt, daß nach diesem Verfahren nicht an ein und demselben Tiermaterial die Resorption verschiedener Phosphate in einem Periodenversuch verfolgt werden kann, wie dies mit Hilfe der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode möglich ist.

Versuche, die spezifische Aktivität des Harn-Phosphors als Bezugssystem des endogenen Kot-P heranzuziehen, wie es ursprünglich HEVESY (12) vorgeschlagen hat und neuerdings auch von GÜTTE (10) und LENKEIT (17) beim Schwein praktiziert wird, haben sich bei Schafen, wie schon in der Arbeit von LÖRCHER (18) erwähnt, nicht bewährt. Den Grund hierfür sehen wir in der vergleichsweise zum Schwein wesentlich geringeren Phosphorausscheidung im Harn der Wiederkäuer bei sehr schwankenden Tagesmengen und der damit einhergehenden größeren Fehlerbreite bei der Bestimmung der P^{32} -Aktivität. Ebenso ist die spezifische P^{32} -Aktivität des Speichels, die nach den Untersuchungen von LUEKER und LOFGREEN (22) mit der des TCF eine gute Übereinstimmung zeigte, aus praktischen Erwägungen heraus bei unseren Versuchen als Maßstab für den endogenen Phosphor nicht benutzt worden.

Die von LOFGREEN und Mitarb. (20) vorgeschlagene Vereinfachung der Bilanzuntersuchungen, anstelle von sieben Einzelmessungen die während einer Woche anfallenden Kotmengen als Sammelprobe zu verarbeiten und deren spezifische Aktivität mit derjenigen aus dem arithmetischen Mittel der ersten und letzten Blutprobe in Beziehung zu setzen, zeigten nur bei der chemischen Analyse eine gute Übereinstimmung. Die auf diese Weise

durchgeführte radiochemische Bestimmung wich jedoch zum Teil wesentlich vom Durchschnitt der Einzelmessungen ab, so daß wir weiterhin trotz des höheren Arbeitsaufwandes die entsprechenden Einzelbestimmungen täglich ausführten.

Im Hinblick auf die P^{32} -Aktivitätsmessung brachte die Flüssig-Szintillationszählung erhebliche Verbesserungen gegenüber der β -Strahlenmessung nach dem Geiger-Müller-Prinzip. Diese Vorteile liegen vor allem in dem beinahe um eine Zehnerpotenz besseren Wirkungsgrad der Zählordnung sowie in einer weitestgehenden Automatisierung des Meßvorganges begründet. Während nach dem Geiger-Müller-Prinzip lediglich 8 - 10 % der Zerfälle erfaßt werden können, lag die Zählausbeute bei unseren mit Hilfe flüssiger Szintillatoren gemessenen Proben je nach Art und Menge des eingebrachten Materials zwischen 60 und 80 %.

Da bisher nur solche Flüssig-Szintillatoren bekannt sind, die sich in organischen Medien lösen, können wäßrige oder leicht saure Flüssigkeiten nur etwa zu 5 - 10 % mit flüssigen Szintillatoren zu einem homogenen System vermischt werden. ERDTMANN und HERRMANN (5) berichteten jedoch kürzlich über eine Möglichkeit, wasserreiche Emulsionen herzustellen. Der in Toluol oder Dioxan gelöste Szintillator wird dabei unter Verwendung eines hochdispersen Siliziumdioxids und eines Emulgators zu einem thixotropen Gel vermischt, das sich mit gleichen Raumteilen wäßriger oder saurer Probelösungen in eine feinverteilte Emulsion umwandeln läßt. Obgleich wir die von den genannten Autoren mitgeteilte Stabilität solcher Emulsionen bei dem Aziditätsgrad unserer Proben noch nicht erreicht haben, bringt dieses Verfahren gegenüber der

β -Messung im homogenen System bei etwa gleicher Zählausbeute und nur unerheblichem Mehraufwand an Arbeit Vorteile in Bezug auf eine Reduzierung der Aktivitätsmenge bzw. der Meßzeit etwa um den Faktor 10.

Bei der Betrachtung der in Tabelle 3 aufgeführten Daten zeigen sich trotz konstant gehaltener P-Zufuhr von 3,5 g pro Tier und Tag bei nahezu gleich hoher Supplementierung in der P-Resorbierbarkeit der einzelnen Rationen deutliche Unterschiede, die sich auch statistisch gut absichern lassen. Dies bedeutet, daß der Nahrungsphosphor je nach Art des Supplements vom Tier in unterschiedlichem Maße resorbiert wird. Da sich der Nahrungsphosphor aus einem organisch gebundenen sowie einem in anorganischer Form supplementierten Anteil zusammensetzte, kann auf Grund unserer Versuche nicht ohne weiteres festgestellt werden, welche dieser beiden Fraktionen zu welchem Prozentsatz zur Resorption kommt. Die aus wissenschaftlichen Gründen interessante Ermittlung des genauen Resorptionskoeffizienten nur einer P-Verbindung hat eine völlig P-freie Grunddiät zur Voraussetzung. Eigene Versuche brachten bei der Verwendung einer nahezu P-freien synthetischen Grundration jedoch bislang keine befriedigenden Ergebnisse, da bei der Verabreichung einer so unphysiologisch zusammengesetzten Ration über Wochen und Monate sich zumindest beim Wiederkäuer erhebliche Verdauungsbeschwerden ergeben, die sich in einer gestörten Pansenmotrik sowie in einer ungünstigen Zusammensetzung der intestinalen Mikroflora äußern.

Für praktische Belange genügt es vollauf, den Resorptionskoeffizienten des gesamten Nahrungsphosphors zu kennen, zumal anorganische Phosphate nie als einzige

Phosphorquelle, sondern stets nur als Zulage zur Verfütterung kommen. Wenngleich die angegebenen P-Resorptionskoeffizienten sich also nicht auf das verwendete anorganische Phosphat direkt beziehen, so können bei standardisierten Versuchsbedingungen, die in unserem Falle vorgelegen haben, die Differenzen in der P-Verwertbarkeit auf den Einfluß der eingemischten Supplemente zurückgeführt werden. Am günstigsten in dieser Hinsicht scheinen sich neben Dicalciumphosphat vor allem Diammoniumphosphat wie auch das in Versuch V verwendete Na-Mg-Ca-Phosphat (der Provenienz 2) auszuwirken. Aber auch die in den übrigen Versuchen verwendeten Phosphate, einschließlich des Rohphosphates, zeigen zusammen mit dem Phosphor pflanzlichen Ursprungs eine recht gute Verwertbarkeit durch das Schaf.

Die zwischen den Versuchen III und V festgestellten Unterschiede der P-Resorptionskoeffizienten nach Verabreichung zweier in derselben Verbindung vorliegenden Na-Mg-Ca-Phosphate sind zunächst unerklärlich. Offensichtlich spielt für die P-Verwertbarkeit außer dem Gehalt an Kationen auch noch deren Bindung innerhalb des Phosphatmoleküls eine Rolle.

Vergleicht man die hier mitgeteilten Ergebnisse mit den in der Literatur vorliegenden Daten, so zeigen sich zum Teil beträchtliche Abweichungen. So beträgt nach den Arbeiten von LÖRCHER (18) und LOFGREEN (21) die P-Resorbierbarkeit bei Schafen unter Verwendung von Dicalciumphosphat 48,5 bzw. 50,0 %. Hierbei muß jedoch berücksichtigt werden, daß die verwendeten Versuchstiere im Vergleich zu den unseren wesentlich älter waren und die täglich zugeführte P-Menge mit 6 - 8 g pro Tier erheblich über dem Bedarf lag, so daß sich die erwähnten Unterschiede in der P-Verdaulichkeit

schon allein damit erklären lassen. Es konnte festgestellt werden, daß überflüssig zugeführter Phosphor vom Organismus zum größten Teil durch Einschränkung der Resorption abgesetzt wird. Tatsächlich fanden PRESTON und PFANDER (27) in Übereinstimmung zu unseren Ergebnissen bei Schaflämmern für eine Dicalciumphosphat-haltige Ration eine P-Resorbierbarkeit von 83,4 bzw. 86,5 % und zwar bei täglichen P-Gaben, die dem Bedarf entsprachen. Sonst im Schrifttum veröffentlichte Ergebnisse sind mit den von uns ermittelten P-Resorptionskoeffizienten nicht ohne weiteres vergleichbar, da entweder mit anderen Tierarten oder mit anderen Phosphorgaben bzw. anderen Mineralfuttern gearbeitet wurde.

Aus dem bisher Gesagten geht hervor, daß die P-Verdaulichkeit unter standardisierten Versuchsbedingungen, die in erster Linie eine einheitliche P-Zufuhr sowie ein definiertes Verhältnis zwischen anorganischen Phosphaten und organisch gebundenem Phosphor bei einem günstigen Ca : P-Quotienten von 2 : 1 betreffen, ein mit Hilfe der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode verhältnismäßig rasch zu ermittelndes Kriterium zu Qualitätsbeurteilungen des Nahrungsphosphors darstellt. Um künftig auch für einzelne Phosphate Mindestwerte für deren Verdaulichkeit angeben zu können, müßte man in der von PRESTON und PFANDER (27) vorgeschlagenen Weise einen in entsprechenden Parallelversuchen ermittelten maximalen P-Resorptionskoeffizienten des Phosphors pflanzlicher Herkunft bei der Verdaulichkeitsberechnung des anorganischen Supplements zugrunde legen.

VI. Zusammenfassung

1. In einem mehrfachen Periodenversuch an vier Jährlingsschafen wurde die Resorbierbarkeit des Nahrungsphosphors aus einer jeweils mit verschiedenen anorganischen Phosphaten supplementierten Ration ermittelt.
2. Die Bestimmung des P-Resorptionskoeffizienten erfolgte nach der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode, mit deren Hilfe eine getrennte Erfassung endogener und exogener Phosphoranteile im Kot möglich ist.
3. Für die Versuche ist eine P-arme, hinsichtlich Energie und Baustoffen jedoch optimal zusammengesetzte Standardration verwendet worden, der die einzelnen auf Resorption zu prüfenden Futterphosphate in einer Menge beige-mischt wurden, daß hiermit 55 - 60 % des täglichen P-Bedarfs von 3,5 g gedeckt werden konnte. Im einzelnen wurden folgende Phosphorsupplemente zugesetzt: Dicalciumphosphat, Natrium-Magnesium-Orthophosphat, Calcium-Magnesium-Phosphat, zwei Natrium-Magnesium-Calcium-Phosphate verschiedener Zusammensetzung, Diammoniumphosphat und ein Rohphosphat.
4. Der Nahrungsphosphor ist unter Verwendung von Dicalciumphosphat am besten resorbiert worden und zwar zu 86 %. Der P-Resorptionskoeffizient für die mit Diammoniumphosphat angereicherte Ration lag mit 85,7 % praktisch im selben Bereich.

5. Bei der Verwendung zweier verschieden zusammengesetzter Na-Mg-Ca-Phosphate ließ der Futterphosphor eine Resorbierbarkeit von 80,6 bzw. 70,0 % erkennen.
6. Na-Mg-Orthophosphat, Ca-Mg-Phosphat und Rohphosphat wurden zusammen mit dem Phosphoranteil der Grundration zu 70,0, 71,0 bzw. 66,6 % resorbiert.
7. Bei der P^{32} -Aktivitätsmessung erwies sich die Flüssigkeits-Szintillationszählung auf Grund ihres etwa um den Faktor 10 besseren Wirkungsgrades gegenüber dem Geiger-Müller-Prinzip überlegen.
8. Die Versuche haben gezeigt, daß sich die verwendeten anorganischen Phosphate hinsichtlich ihrer Resorbierbarkeit alle für den praktischen Einsatz in der Tierernährung eignen.
9. Um den P-Resorptionskoeffizienten als Kriterium für die vergleichende Qualitätsbeurteilung von Futterphosphaten heranziehen zu können, ist es erforderlich, die Versuchsbedingungen zu standardisieren.

VI. Literaturverzeichnis

1. BERGEIM, O. A method for study of food utilisation or digestibility.
J.biol.Chem., 70, 29, 1926

A method for the study of absorption in different parts of the gastrointestinal tract.
J.biol.Chem., 70, 47, 1926

The absorption of Ca and P in small and large intestines.
J.biol.Chem., 70 , 51, 1926
2. BRÜGGEMANN, J.
BRONSCH, K.
BOOTS, H. Die Resorption und Sekretion von P bei Mastschweinen, zugleich ein Beitrag zur Ermittlung des P-Bedarfs. Zeitschr.f.Tierphysiol.Tierernährung u. Futtermittelkunde, 17, 91, 1962
3. BUYESSE, F. Het bepalen der endogene Feces- Phosphor met de radio-actieve Phosphorisotop P^{32} .
Medd.Land.-Hocheschool, Gent, 17, 391, 1952
4. ELLIS, I.C.
TILLMAN, A.D. Utilisation of phytin phosphorus in wheat bran by sheep.
J.anim.Sci., 20, 606, 1961
5. ERDTMANN, G.
HERRMANN, G. Wasserreiche Emulsionen zur Szintillationszählung wässriger Lösungen von β -Strahlern.
Radiochimica Acta, 1, 98, 1963

6. FISKE, C.H.
SUBBAROW, J. The colorimetric determination
 of phosphorus.
 J.biol.Chem., 66, 375, 1925
7. FOURNIER, P.
DUPUIS, Y. Une méthode d'évaluation indirecte
 du taux de l'absorption des composés
 phosphorés à différent niveaux du
 tube digestif.
 J.de Physiol., 45, 433, 1953
8. GUEGUEN, L. L'utilisation digestive réelle du
 phosphore du foin de luzerne par le
 mouton, mesurée à l'aide de P^{32} .
 Ann.Biol.anim.Bioch.Biophys., 2, 143,
 1962
9. GUEGUEN, L. Influence de la nature du régime
 alimentaire sur l'excretion fécale
 de phosphore endogène chez le veau.
 Ann.Biol.anim.Bioch.Biophys., 3, 243,
 1963
10. GÜTTE, J.O.
LANTZSCH, H.J.
MOLNÁR, S.
LENKEIT, W. Veränderungen der intestinalen Phos-
 phor-Absorption und -Exkretion im Ver-
 lauf der Gravidität und Laktation des
 Schweines bei konstanter Ernährung.
 Zeitschr.f.Tierphysiol.Tierernährung
 u. Futtermittelkunde, 16, 75, 1961
11. HANSARD, S.L.
COMAR, C.L.
PLUMLEE, M.P.
HOBBS, C.S. Integration of concurrent chemical
 and radioisotop blance trials for
 the interpretation of Calcium metabo-
 lism studies.
 J.dairy Sci., 39, 508, 1951

12. HEVESY, G. Excretion of Phosphorus.
 HAHN, L.
 REBBE, V. Bio.Medd.XIV, 3 (København 1939)

13. KELLNER, O. Grundzüge der Fütterungslehre.
 BECKER, M. Verlag Paul Parey, Hamburg und
 Berlin, 1962

14. KJERULF-JENSEN, K. Excretion of P by the bowel.
 Acta physiol.scand., 3, 1, 1941/42

15. KLEIBER, M. Ernährungsforschung an inaktiven
 Kühen mit Hilfe von Isotopen als
 Tracern.
 Zeitschr.f.Tierphysiol.Tierernährung
 u.Futtermittelkunde, 11, 195, 1956

16. KLEIBER, M. Radiophosphorus (P^{32}) as tracer for
 SMITH, A.H. measuring endogenous Phosphorus in
 RALSTON, N.P. cow's feces.
 BLACK, A.L. J.Nutr., 45, 253, 1951

17. LENKEIT, W. Untersuchungen über den Beginn der
 MOLNÁR, S. Mobilisierung der eingelagerten
 LANTZSCH, H.J. Körperreserven von Ca, P und Na im
 GÜTTE, J.O. Graviditäts-Laktations-Zyklus bei
 Sauen.
 Zeitschr.f.Tierphysiol.Tierernährung
 u. Futtermittelkunde, 17, 65, 1962

18. LÖRCHER, K. Resorption und Ausscheidung des Phos-
 phors beim Tier.
 Diss. München, 1959

19. LOFGREEN, G.P. The availability of the Phosphorus
 KLEIBER, M. in alfalfa hay.
 J.anim.Sci., 12, 366, 1953

20. LOFGREEN, G.P.
KLEIBER, M. Further studies on the availability of Phosphorus in alfalfa hay. J.anim.Sci., 13, 258, 1954
21. LOFGREEN, G.P. The availability of the Phosphorus in dicalciumphosphate, bone meal, soft phosphate and calcium phytate for mature wethers. J.Nutr., 70, 58, 1960
22. LUEKER, C.E.
LOFGREEN, G.P. Effects of intake and Calcium to Phosphorus ratio on absorption of these elements by sheep. J.Nutr., 74, 233, 1961
23. LUICK, J.R.
LOFGREEN, G.P. An improved method for the determination of the metabolic fecal phosphorus. J.anim.Sci., 16, 201, 1957
24. MÜLLER-SETTELE, A. Beitrag zu den parameterfreien Testmethoden in der Biostatistik. Zeitschr.f.Tierphysiol.Tierernährung u. Futtermittelkunde, 13, 160, 1958
25. N.N. Nutrient Requirements of Domestic Animals. No.V: Nutrient Requirements of sheep. A Report of the Committee on Animal Nutrition, National Academy of Sciences - National research Council, Publication 514
26. NICOLAYSEN, R. The influence of Vit.D on the fecal output of Ca and P in the rat. Biochem.J., 31, 107, 1937

27. PRESTON, R.L.
PFANDER, H.W. Phosphorus metabolism in lambs fed
varying phosphorus intakes.
J.Nutr., 83, 369, 1964
28. SEUSS, H. Bestimmung der Phosphorresorption
aus Mineralfuttern an Jungrindern
und Schafen nach der Isotopenver-
dünnungsmethode.
Diss. München, 1961
29. WÖHLBIER, W.
EGGERS, G.
LEDERLE, F. Verband Deutscher Landwirtschaft-
licher Untersuchungs- und Forschungs-
anstalten: Methodenbuch, Band XIII :
Die Technik des Tierversuches.
Neumann Verlag, Radebeul und Berlin,
1953

Herrn Professor Dr. Kurt B r o n s c h möchte ich für die freundliche Überlassung des Themas, sowie die großzügige Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit herzlich danken.

Herrn Dr. Konrad L ö r c h e r gilt mein besonderer Dank für sein Entgegenkommen, den jederzeit gewährten Rat und die Anleitung bei der Durchführung der Versuche.

Ebenso bin ich Frau I. G r o s s e r und Fräulein S. K ö h l e r für die Hilfe bei einigen Analysen dankbar.

LEBENS LAUF

Am 14. Oktober 1936 wurde ich als Sohn des Versicherungsinspektors Felix Conrad und seiner Frau Vera, geb. Pflug, in Greifswald geboren.

Von 1942 bis 1951 besuchte ich die Knabenschule in Demmin (Vorpommern) und anschließend das Arndt-Gymnasium in Berlin-Dahlem, wo ich im März 1957 die Reifeprüfung ablegte.

Vom Sommersemester 1957 an studierte ich an der Veterinärmedizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin und schloß mein Studium im Juli 1962 mit dem Staatsexamen ab. Nach halbjähriger Praktikantenzeit bei Herrn Dr.med.vet. W. Villwock in Altenwalde bei Cuxhaven erhielt ich Ende Januar 1963 meine Approbation zum Tierarzt.

Seit Februar 1963 bin ich mit der Wahrnehmung der Dienstgeschäfte eines wissenschaftlichen Assistenten am Institut für Tierzucht und Tierernährung der Freien Universität Berlin beauftragt.

